# طراحی و ساخت آنتن دوپلاریزه در باند فرکانس 1710-1880Mhz [1]

فرخ آرزم

دانشیار گروه مهندسی برق و کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۸۰/۲/۲۲ ، تاریخ تصویب ۸۱/۱/۲۴)

## چکیده

با توجه به رشد سریع تکنولوژی تلفن همراه جهت افزایش تعداد متقاضیان این تکنولوژی، لازم است که باند فرکانس این سیستم از 900MHz به 1800 MHz انتقال یابد. استفاده از روش های دایورسیتی جهت بهبود کیفیت سیگنال دریافتی الزامی خواهد بود. صرفنظر از تکنیک های مختلف دایورسیتی، دریافت دو سیگنال مختلف توسط آنتن بخشی از این روش می باشد. استفاده از دو آنتن مجزا که در صفحه افقی در فاصله متناسب از یکدیگر قرار گیرند [2] باعث افزایش حجم مورد اشغال، وزن آنتن ها و در نتیجه منجر به ساخت دکل سنگین تر و پرداخت هزینه های بیشتر خواهد شد. استفاده از یک آنتن دوپلاریزه بجای سه آنتن تک پلاریزه مزیت این نوع آنتن ها را آشکار می سازد.در راستای این مقاله ابتدا مزایای یک آنتن دوپلاریزه متشکل از دو عنصر دایروی راستگرد و چپگرد در مقایسه با آنتن دوپلاریزه مرسوم، متشکل از دو عنصر متعامد خطی ارائه می گردد. سپس آنتن دوپلاریزه دایروی راستگرد و چپگرد طراحی و ساخته شده و نتایج اندازه گیری بدست داده می شود.

**واژه های کلیدی:** آنتن، پلاریزاسیون، آنتن دوپلاریزه

## مقدمه

طراحی و استفاده از آنتن های دو پلاریزه از حدود سالهای ۱۹۹۵ به بعد شروع گردیده است. در حال حاضر این آنتن ها یا با استفاده از دو آنتن دی پل که بصورت ضربدری در $\pm 45^{\circ}$ قرار دارند ساخته می شوند و یا از آنتن های میکرو استریپ با القاء روزنه ای که بتواند کل باند فرکانس را پوشش دهند. کلیه مقالات آنتن های دو پلاریزه در مجموع از دو عنصر مستقل خطی بحث می نماید.

در بررسی موجود بجای دو عنصر مستقل خطی از دو عنصر مستقل با پلاریزاسیون دایروی استفاده شده است.

## طراحی آنتن و مبانی آن

دو خاصیت مهم جهت بدست آوردن اصلاح سیگنال از سیستم دایورسیتی مورد نیاز است. اول اینکه پژمردگی [3] هر یک از شاخه های سیستم دایورسیتی دارای همبستگی متقابل خیلی کم باشد و دوم اینکه متوسط توان قابل دسترسی از هر یک از شاخه های سیستم دایورسیتی تقریبا با هم برابر باشند.

در مورد خاصیت اول نشان داده شده است [۱] که وقتی توان دریافتی در پایانه های آنتن های گیرنده دارای توزیع ریلی [4] هستند در احتمال تجمعی ۱٪ بازاء ضریب همبستگی کمتر از 0.6 بین خروجی پایانه های آنتن های گیرنده میتوان در SNR [5] بهبودی بیش از 8dB را انتظار داشت. چنانچه ضریب همبستگی بین دو مولفه متعامد سیگنال های دریافتی توسط آنتن های گیرنده بواسطه پژمردگی دارای ضریب هم بستگی کم باشد باید سعی گردد این ضریب همبستگی در خروجی پایانه های آنتن های گیرنده افزایش نیابد. تحقق این امر بواسطه بالا بودن ایزولاسیون آنتن ها میسر می گردد. در آنتن های دو پلاریزه نمایانگر این پارامتر XPD [6] می باشد که برای پهنای پرتو تعریف شده آنتن بیشتر از 6dB تعریف می شود.

در مورد خاصیت دوم اینکه متوسط توان دریافتی توسط عناصر متعامد آنتن های گیرنده تقریبا یکسان باشد لازم به ذکر است چنانچه ضریب همبستگی دو سیگنال حتی خیلی کم باشد ولیکن ساختار آنتن ها آنچنان باشند که در خروجی همواره یک سیگنال دارای متوسط توان

۱ – طرح و پژوهش ساخت آنتن دوپلاریزه با حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران و در آن مرکز با کد فعالیت 7831410 انجام پذیرفته است.

بیشتر از سیگنال دیگر باشد آنگاه کارایی سیستم دایورسیتی بلااثر خواهد بود.

در این خصوص باید اشاره گردد که آنتن های دو پلاریزه معمولی از دو عنصر متعامد خطی با $\pm 45^{\circ}$ نسبت به سطح افق طراحی و ساخته شده اند. برای چنین آنتنی در صورتی که توان سیگنال های متعامد دریافتی توسط عناصر متعامد یکسان نباشد آنگاه تضمین کافی برای مساوی بودن توان ها در خروجی پایانه های آنتن وجود ندارد.

در طرح موجود جهت فائق آمدن به این مشکل عناصر متعامد آنتن دوپلاریزه را دو آنتن با دو پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپ گرد که در فاصله نزدیک بهم قرار دارند انتخاب می کنیم.

با این انتخاب بواسطه نزدیکی دو عنصر متعامد، مساوی بودن تقریبی توان سیگنال های خروجی پایانه های آنتن تضمین می گردند. یادآوری می گردد که این نزدیکی نباید آنقدر زیاد باشد که سطح ایزولاسیون را خدشه دار نماید.

برای مقایسه باید ضریب همبستگی و SNR برای دو نوع آنتن (آنتن های معمولی با دوپلاریزاسیون خطی و آنتن طرح جدید با دوپلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپ گرد) با هم مقایسه گردند.

## مقایسه ولتاژهای مدار باز خروجی های عناصر

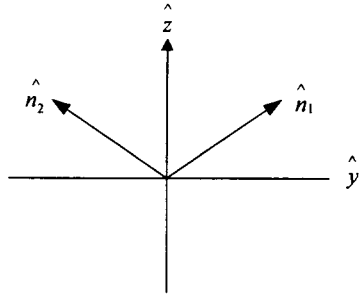
### آنتن با دو عنصر متعامد خطی

فرض می کنیم دو عنصر خطی در مبدا مختصات در صفحه x=0 مطابق شکل (۱) با زاویه $\pm\theta'$ نسبت به محور قائم (محور z) قرار داشته باشند.

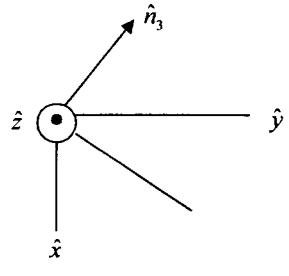
چنانچه این دو عنصر ایزوتروپیک با اندازه طول های موثر یکسان $l_{\circ}$ باشند، بردارهای طول های موثر آنها $\bar{h}_1$ و $\bar{h}_2$ عبارتند از :

$$\bar{h}_1 = l_{\circ}(\hat{y}\sin\theta' + \hat{z}\cos\theta') \quad (۱)$$

$$\bar{h}_2 = l_{\circ}(-\hat{y}\sin\theta' + \hat{z}\cos\theta') \quad (۲)$$




**شکل ۱ : دو عنصر خطی آنتن دوپلاریزه.**




**شکل ۲ : جهت تابش میدان تابشی $\bar{E}_i$ از متحرک به آنتن .**

چنانچه میدان تابشی مطابق شکل (۲) تحت زاویه $\varphi$ از سمت متحرک به آنتن بتابد ، برای میدان تابشی $\bar{E}_i$ داریم :

$$\bar{E}_i = -\hat{x}\sin\varphi E_{11}e^{\alpha_1} + \hat{y}\cos\varphi E_{11}e^{\alpha_1} + \hat{z}E\perp e^{\alpha_2} \quad (۳)$$

بطوریکه $E_{11}$ و $E_{\perp}$ بترتیب معرف مجموع مولفه های مختلط امواج دریافتی بترتیب افقی و عمودی هستند یعنی وقتی $a_i$ و $b_i$ بترتیب معرف هر یک از مولفه های افقی و عمودی هستند که از مسیرهای مختلف دریافت می گردند و داریم :

$$E_{11}e^{\alpha_1} = \sum_i a_i \quad \text{و} \quad E_{\perp}e^{\alpha_2} = \sum_i b_i \quad (۴)$$

چنانچه متحرک و ایستگاه یکدیگر را نبینند $E_{11}$ و $E_{\perp}$ مستقل از یکدیگر و دارای توزیع ریلی هستند در حالیکه $\alpha_1$ و $\alpha_2$ مستقل از یکدیگرو دارای توزیع یکنواخت هستند [۲].

در نتیجه ولتاژهای مدار باز در عنصر متعامد عبارتند از :

$$(Voc)_1 = l_0(E_{11}e^{\alpha_1}\sin\theta'\cos\varphi + E_{\perp}e^{\alpha_2}\cos\theta') \quad (۵)$$

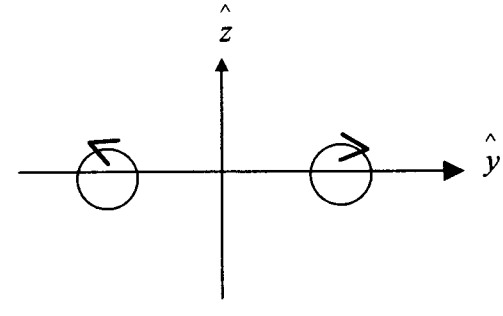
$$(Voc)_2 = l_0(-E_{11}e^{\alpha_1}\sin\theta'\cos\varphi + E_{\perp}e^{\alpha_2}\cos\theta') \quad (۶)$$

### آنتن یا دو عنصر با پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد

شکل (۳) این دو عنصر را که در صفحه x=0 نزدیک بهم قرار دارند نشان می دهد. چنانچه این دو عنصر ایزوتروپیک با اندازه طول های موثر یکسان $l_0$ باشند ، بردار طول های موثر آنها عبارتند از :

$$\bar{h}_1 = \frac{l_0}{\sqrt{2}}(\hat{y} + j\hat{z}) \quad (۷)$$

$$\bar{h}_2 = \frac{l_0}{\sqrt{2}}(\hat{y} - j\hat{z}) \quad (۸)$$




**شکل ۳ : دو عنصر متعامد با پلاریزاسیون دایروی راستگرد و چپگرد .**

با فرض میدان تابشی رابطه (۲-۳) ، ولتاژهای مدار باز دو پایانه آنتن عبارتند از :

$$(Voc)_1 = \frac{l_0}{\sqrt{2}}(E_{11}e^{\alpha_1}\cos\varphi + jE_{\perp}e^{\alpha_2}) \quad (۹)$$

$$(Voc)_2 = \frac{l_0}{\sqrt{2}}(E_{11}e^{\alpha_1}\cos\varphi - jE_{\perp}e^{\alpha_2}) \quad (۱۰)$$

با مقایسه روابط (۲-۹ و ۱۰) با روابط (۲-۵ و ۶) نظیر به نظیر بازاء $\theta' = 45^\circ$ مشاهده می شود که زمانی اندازه طول های موثر عناصر با هم برابر باشند ، اندازه ولتاژهای مدار باز با هم یکسان هستند.

## مقایسه ضریب همبستگی توان های خروجی پایانه ها

چنانچه $p_{R1}$ و $p_{R2}$ بترتیب توان های خروجی دهنه های ۱ و ۲ آنتن باشند، بفرض تطبیق بودن دهنه ها ، این توان ها با مجذور ولتاژهای مدار باز این دو دهنه متناسب هستند و ضریب همبستگی توان ها بصورت زیر تعریف می شود [۳] :

$$\rho = (E\{|(Voc)_1|^2|(Voc)_2|^2\} - E\{|(Voc)_1|^2\}E\{|(Voc)_2|^2\})/$$
$$\left(\left[E\{[|(Voc)_1|^2]^2\} - [E\{|(Voc)_1|^2\}]^2\right]^{\frac{1}{2}}\right.$$
$$\left.\left[E\{[|(Voc)_2|^2]^2\} - [E\{|(Voc)_2|^2\}]^2\right]^{\frac{1}{2}}\right) \quad (۱۱)$$

با استفاده از رابطه ۲-۱۱ ضریب همبستگی را برای هر دو نوع آنتن محاسبه می نماییم.

### آنتن با دو عنصر متعامد خطی

با قرار دادن روابط (۲-۵ و ۶) در رابطه (۲-۱۱) داریم :

$$E\{|(Voc)_1|^2\} = E\{|(Voc)_2|^2\} =$$
$$E\{E_{11}^2\}\sin^2\theta'\cos^2\varphi + E\{E_{\perp}^2\}\cos^2\theta'$$
$$E\{|(Voc)_1|^2|(Voc)_2|^2\} =$$
$$E\{E_{11}^4\}\sin^4\theta'\cos^4\varphi + E\{E_{\perp}^4\}\cos^4\theta'$$
$$E\{[|(Voc)_1|^2]^2\} = E\{[|(Voc)_2|^2]^2\} =$$
$$E\{E_{11}^4\}\sin^4\theta'\cos^4\varphi + E\{E_{\perp}^4\}\cos^4\theta'$$
$$+ 4E\{E_{11}^2\}E\{E_{\perp}^2\}\sin^2\theta'\cos^2\theta'\cos^2\varphi$$

در نتیجه

$$\rho = \frac{(\tan^2\theta'\cos^2\varphi - XPD)^2}{(\tan^2\theta'\cos^2\varphi + XPD)^2} \quad (۱۲)$$

بطوریکه XPD بصورت زیر تعریف می شود.

$$XPD = \frac{E\{E_{\perp}^2\}}{E\{E_{11}^2\}} \quad (۱۳)$$

**آنتن با دو عنصر دایروی**

با استفاده از روابط (۲-۹ و ۱۰) و قراردادن در رابطه (۲-۱۱) داریم :

$$E\{|(Voc)_1|^2\} = E\{|(Voc)_2|^2\} = \frac{1}{2}[E\{E_{11}^2\}\cos^2\varphi + E\{E_{\perp}^2\}]$$

$$E\{|(Voc)_1|^2|(Voc)_2|^2\} = \frac{1}{4}[E\{E_{11}^4\}\cos^4\varphi + E\{E_{\perp}^4\}]$$

$$E\{[|(Voc)_1|^2]^2\} = E\{[|(Voc)_2|^2]^2\} = \frac{1}{4}E\{E_{11}^4\}\cos^4\varphi + E\{E_{\perp}^4\} + 4E\{E_{11}^2\}E\{E_{\perp}^2\}\cos^2\varphi$$

در نتیجه داریم :

$$\rho = \frac{\cos^2\varphi - XPD}{\cos^2\varphi + XPD}$$

(۱۴)

دیده می شود که بازاء $\theta' = 45^\circ$ روابط (۲-۱۲) و (۲-۱۴) با هم یکسان هستند در نتیجه ضرایب هم بستگی برای هر دو نوع آنتن با هم برابرند.

## مقایسه SNR خروجی آنتن ها

چون توان های خروجی آنتن ها بشرط تطبیق بودن آنها با مجذور ولتاژهای مدار باز آنها متناسب است و اینکه $E\{|Voc|^2\}$ برای هر دو نوع آنتن یکسان می باشند بنابراین توان های خروجی سیگنال برای هر دو نوع آنتن یکسان است.

از طرفی درجه حرارت نویز معادل آنتن $T_a$ از رابطه زیر عاید می گردد [۴].

$$T_a = \frac{\int G_a(\Omega)T_n(\Omega)d\Omega}{\int G_a(\Omega)d\Omega}$$

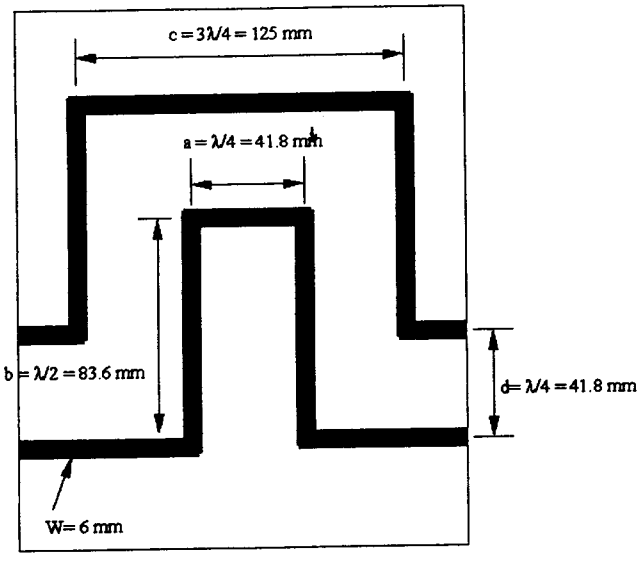
(۱۵)

بطوریکه $G_a(\Omega)$ عبارتست از بهره جهتی آنتن در جهت زاویه فضائی $\Omega$ و $T_n(\Omega)$ عبارتست از درجه حرارت نویز معادل ناشی از منابع آسمانی ، خورشیدی ، اتمسفری ، ساخت بشر و زمین در جهت زاویه فضایی $\Omega$ . با داشتن درجه حرارت نویز معادل آنتن می توان درجه حرارت موثر نویز معادل انتن $T_{ea}$ که در آن اثر تلفاتی خود آنتن نیز ملحوظ شده محاسبه نمود و از آنجا درجه حرارت نویز معادل سیستم $T_s$ و بالاخره توان نویز [۴] از رابطه

$$N_o = k\Delta f T_s$$

(۱۶)

عاید می گردد. بطوریکه در این رابطه $\Delta f$ پهنای فرکانس و k ثابت بولتزمن است. چنانچه هر دو نوع آنتن در شرایط یکسان باشند $T_n$ ها با هم برابرند و در صورتیکه هر دو نوع آنتن به مدار تضعیف کننده یکسان و گیرنده یکسان وصل گردند آنگاه زمانی درجه حرارت نویز موثر معادل دو آنتن با $T_a$ هم برابر باشند که درجه حرارت نویز معادل دو آنتن هم برابر باشند که لازمه آن یکسان بودن بهره جهتی دو آنتن است. علت این امر این است که برای آنتن ایستگاه های تلفن همراه، سطح مقطع آنتن ها انقدر کوچک هست که بتوان از تلف ناشی از مقاومت اهمی آنها صرف نظر کرد. در نتیجه $Ta \approx Tea$ خواهد بود. با توجه به اینکه معمولا متقاضیان آنتن مشخصات عمده بهره جهتی را مشخص می کنند بنابراین طراحی باید آنچنان باشد که مشخصات عمده خواسته متقاضی برآورده شود. بعبارت دیگر با تقریب خوب می توان گفت $G_a(\Omega)$ برای هر دو نوع آنتن یکسان است در نتیجه SNR هر دو آنتن برابر یکدیگر می باشند.




**شکل ٤ : Layout عناصر آنتن طراحی شده .**

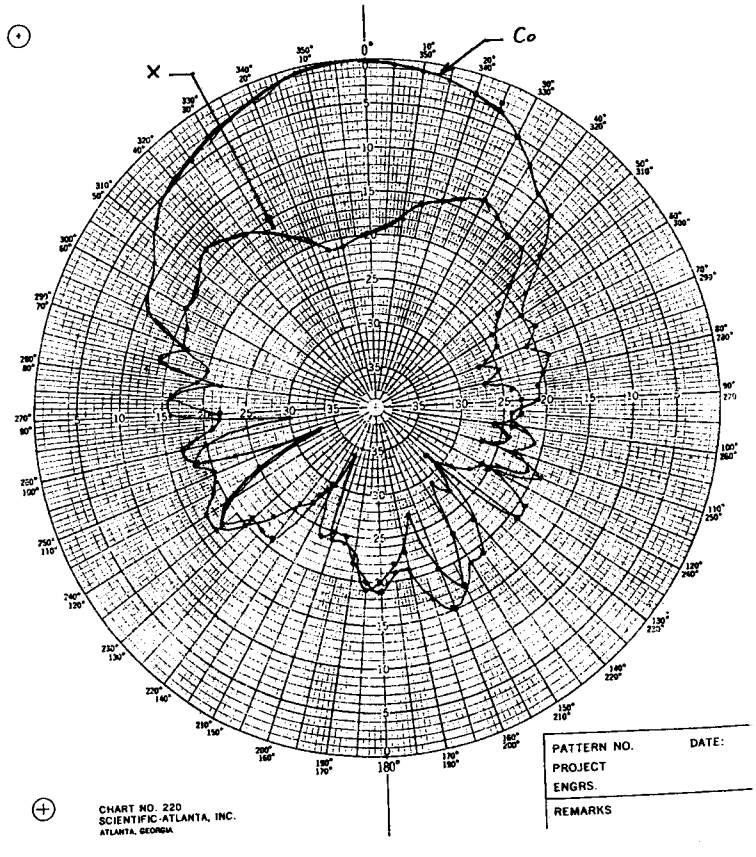
## طراحی نمونه ساخته شده و نتایج

با توجه به تجربیات قبلی انجام شده در گروه مهندسی برق و کامپیوتر [۵] ، عناصر آنتن بصورت Crank Line انتخاب گردیدند که در شکل (۴) ابعاد آن بدست داده شده است. در این شکل یک عنصر آنتن نمایش داده شده است. ضخامت زمینه مدار چاپی 0.2mm است. آنتن از هشت عنصر متوالی ساخته شده است و فاصله بین عناصر و صفحه رفلکتور که پشت عناصر قرار دارد حداقل 3mm است. تغذیه آنتن نیز توسط یک مبدل کابل کواکس به مدار چاپی صورت می پذیرد.

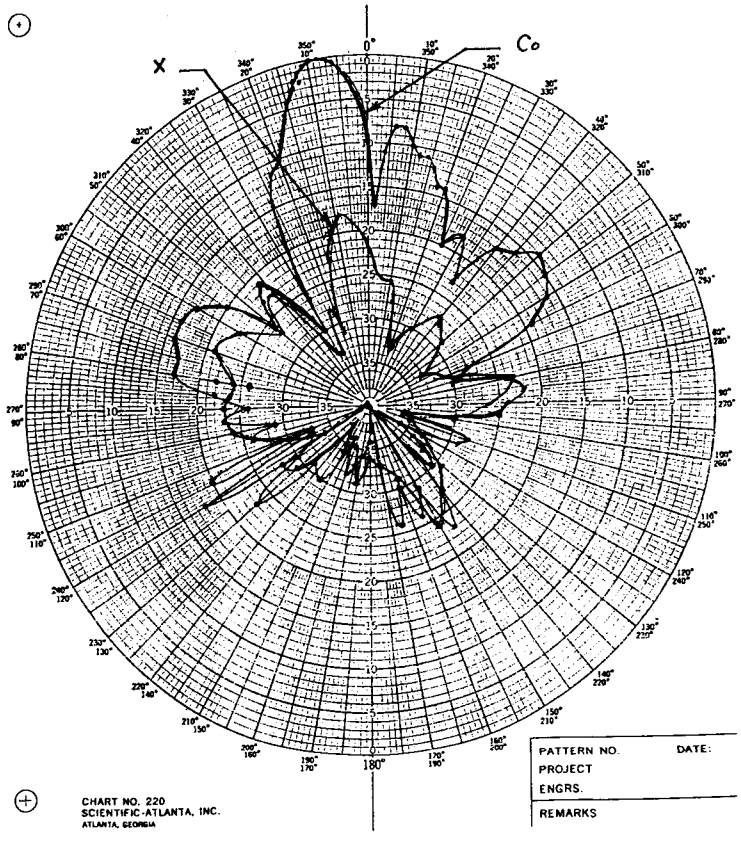
آنتن ساخته شده طبق روشهای معمول مورد تست قرار گرفته و شکل های (۵) و (۶) بترتیب پترن صفحات افقی و عمودی پترن Copolar و Crosspolar در فرکانس 1800 Mhz آنتن را بدست می دهد.

همانگونه که از شکل های (۵) و (۶) عاید می گردد ، پهنای پرتو در صفحه افقی حدود $55^\circ$ و پهنای پرتو در صفحه عمودی حدود $11^\circ$ است. سطح XPD در پهنای پرتو 3dB صفحه افقی بیشتر از 10dB و در صفحه عمودی بیشتر از 16dB است. از این دو منحنی نتیجه می شود که میزان F/B بیش از 15dB است.

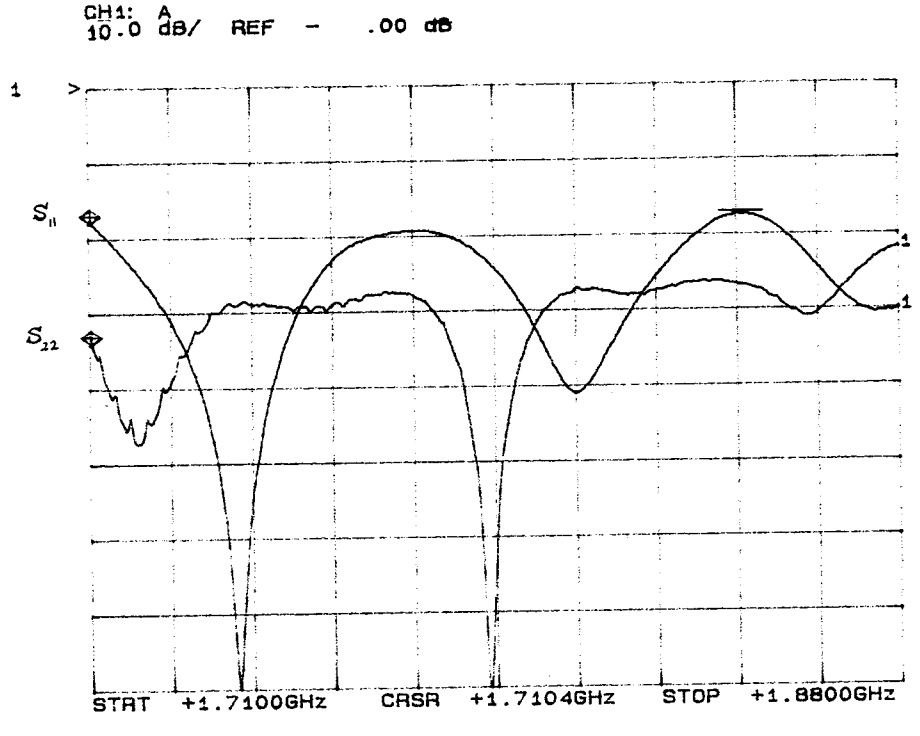
شکل (۷ – الف)، تلف های برگشتی دو دهنه را نشان می دهد که در طول باند برابر در حداقل قابل قبول $VSWR \leq 1.5$ است. ایزولاسیون بین دو دهنه اندازه گیری شده در طول باند فرکانس در شکل (۷-ب)، حدود 18dB می باشد. با توجه به اینکه ایزولاسیون اندازه گیری شده آنتن های متداول حدود 20dB می باشد بنابراین اختلاف زیادی از این نظر بین این دو آنتن وجود ندارد. مشخصات فوق با مشخصات آنتن های ساخته شده شامل دو عنصر خطی متعامد کم و بیش با هم یکسان می‌باشند.



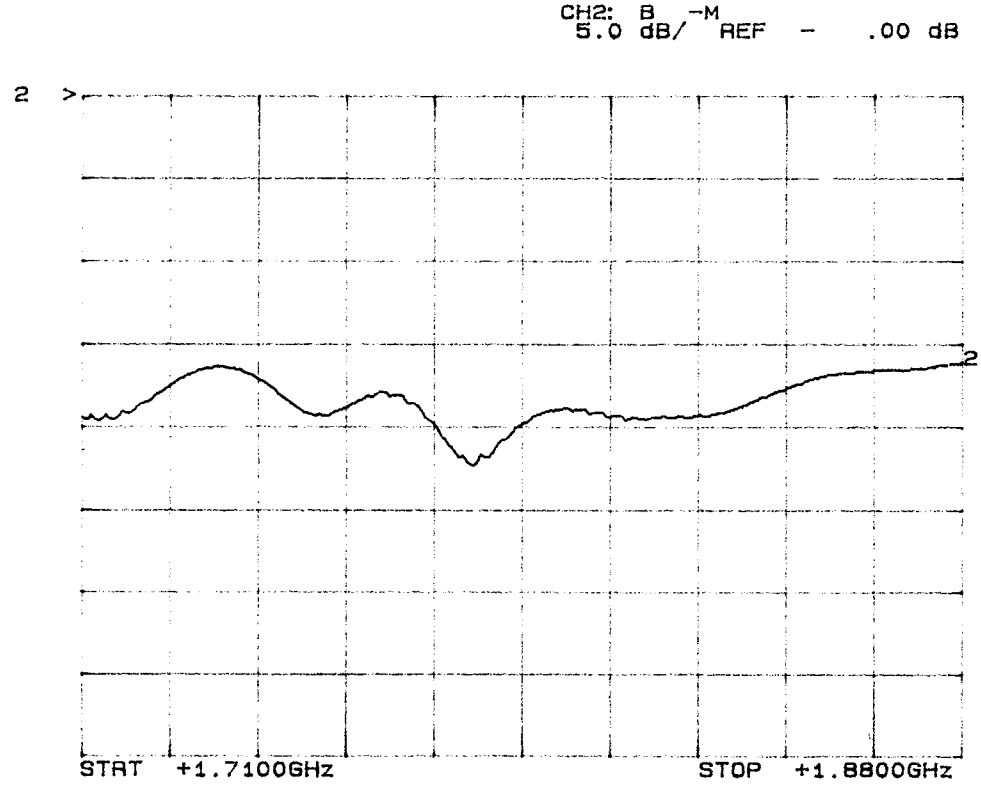

**شکل ۵ : پترن صفحه افقی در فرکانس 1800 MHz دهنه ۱ (Copolar) و دهنه ۲ (Cross Polar) .**




**شکل ٦ : پترن صفحه عمودی در فرکانس 1800 MHz دهنه ۱ (Copolar) و دهنه ۲ (Cross Polar) .**




**شکل ۷ - الف : تلف برگشتی دهنه های ۱ و ۲ در باند فرکانس (1710~1880 MHz) .**




**شکل ۷ – ب : ایزولاسیون بین دو دهنه در طول باند فرکانس.**

## نتیجه گیری

با توجه به نتایج تست بدست آمده می توان نتیجه گرفت که این آنتن می تواند جایگزین مناسبی جهت آنتن های متداول گردد زیرا پهنای پرتو در صفحات عمودی و افقی و سطح XPD در حدود میزان مورد انتظار است. میزان F/B در حد مورد انتظار نبود ولی می توان با افزایش سطح رفلکتور مقدار آن را از 15dB به 20dB مورد انتظار رساند و در عین حال با افزایش تعداد عناصر می توان گین دلخواه را بدست آورد.

دقت شود که با توجه به باند فرکانس این آنتن این اطمینان وجود دارد که با افزایش سطح رفلکتور پهنای باند تغییرات زیادی نداشته باشد.

در هر حال مزیت عمده این آنتن در عمل، به واسطه این است حتی اگر توان سیگنال های متعامد دریافتی یکسان نباشد، همواره خروجی دو عنصر این آنتن دارای متوسط توان تقریبا یکسانی است.

## مراجع

1 - Yamade, Y. K. Tsunekawa, K. (1991). "Diversity antennas for base and mobile stations in land mobile communication systems." *IEICE,* Vol. E74, No. 10, PP. 3202-9.

2 - Okumura, Y., Ohmori, E., Kawana, T. and Fukude, K. (1968). "Field strength and variability in UHF and VHF land mobile radio service." *Rev. Electrical communication-Lab , 16*, PP. 825-73.

3 - Proakis, J. G. and Salehi, M. (1994). *Communication system engineering.* Prentice Hall, International Edition.

4 - Collin, R. E. (1998). *Antennas and propagation*, Mac Graw Hill Co.

4 - Collin, R. E. (1998). *Antennas and propagation*, Mac Graw Hill Co.

۵ – منطقی، م.، آرزم، ف. و سایرین. "روش کارآ برای تحلیل گروهی از آنتن های موج متحرک." پنجمین کنفرانس مهندسی برق ایران ، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت (۱۳۷۶).

## واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

2 - Space Diversity
3 – Fading
4 – Rayleigh
5 – Signal to Noise Ratio
6 – Cross Polarization Discrimination